

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НАНОЧАСТИЦ

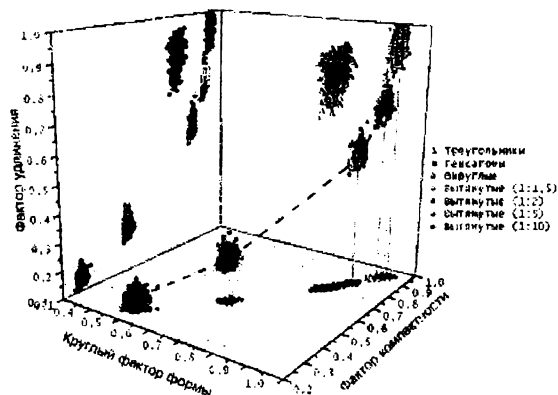
В последнее время резко увеличился интерес к объектам, характерные размеры структуры которых лежат в нанометровой области. Это могут быть и наноразмерные объекты (наночастицы), и материал с наноструктурой (нанокристаллические материалы). Столь высокий интерес обусловлен уникальными свойствами подобных структур. Уникальность их свойств определяется в первую очередь именно размерным фактором, но в некоторых случаях оказываются важными и морфологические характеристики нанообъектов. Так, кроме стандартных гранулометрических характеристик наночастиц, важной оказывается их форма. Форма наночастиц может влиять как на физические свойства самих частиц (например, оптические), так и на структуру материала, созданного на их основе.

Таким образом, при решении исследовательских и технологических задач возникает необходимость в количественном анализе морфологических характеристик наночастиц. Большими возможностями и гибкостью в решении подобных задач обладают методы, основанные на использовании средств компьютерного анализа изображений. Более того, методы анализа изображений являются наиболее естественными для проведения морфологического анализа. Одной из ключевых проблем в этом случае является классификация частиц на изображении по их морфологическим признакам.

Наночастицы могут иметь различную 3D форму (от сферической до призматической), и разделение их между собой по форме является достаточно сложной задачей в анализе изображений. Данная работа посвящена решению задачи классификации наночастиц по микрофотографиям.

Исходными данными для анализа служили изображения наночастиц, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии. В данном случае частицы представлялись в виде проекций на плоскость изображения, т.е. задача сводилась к анализу двумерных частиц с округлой, вытянутой и многоугольной формой. В качестве инструмента исследования была использована система анализа изображений SIMAGIS Research.

Обычно для характеристики морфологии объектов используются стандартные факторы формы. Данный подход может применяться для количественной характеристики морфологии объектов, но в задаче разделения объектов на классы по их форме (типу многоугольника) он оказался недостаточно чувствительным (см. рисунок). В работе был осуществлен поиск метода, позволяющего удовлетворительно разделять частицы с разным количеством углов (округлые частицы можно считать многоугольниками с бесконечным количеством углов, а вытянутые частицы – «двуугольниками»), причем с пониженной чувствительностью к искажениям формы.



### Результаты измерения факторов формы модельных частиц

Было предложено использование непосредственного морфологического анализа внешнего контура частицы. Для этого необходимо определиться с характерными признаками контура частицы, которые непосредственно указывали бы на принадлежность частицы к тому или иному классу.

Одними из признаков, определяющих тип частицы, являются изгибы контура, которые в определенных случаях могут указывать на вершины многоугольника. Определяя и подсчитывая каким-либо образом вершины, можно делать вывод о типе многоугольника, к которому можно отнести данную наночастицу.

При исследовании возможностей данного подхода было предложено несколько алгоритмов определения формы частиц. Некоторые из них основывались на анализе «функции контура» частицы, которая представляла собой зависимость расстояния между центром тяжести частицы и текущей точкой контура от номера текущей точки. Другой подход заключался в использовании методов, основанных на использовании некоторого шаблона, представляющего собой полигон с варьируемыми значениями длин отрезков и углов. Эти два подхода обладают одним недостатком: они достаточно чувствительны к неправильности многоугольной формы частицы, сглаживанию углов и другим искажениям формы.

Третий подход заключался в использовании информации о прямолинейных участках контура частицы. Используя информацию о количестве, распределении длин отрезков контура, их взаимном расположении и т.д., анализируемая наночастица относилась к определенному классу.

Из всех опробованных методов классификации для анализа формы наночастиц был предложен алгоритм, основанный на анализе отрезков контура, поскольку он обеспечил наилучшие результаты при тестировании. Применение данного метода на модельных и реальных изображениях наночастиц позволило решить задачу классификации с высокой степенью достоверности результатов.